

## MISURE COMPARATE DI SPEECH TRANSMISSION INDEX E TEMPO DI RIVERBERO IN EDIFICI SCOLASTICI ANTE E POST INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO

Simone Secchi (1), Veronica Amodeo (2)

Dipartimento di Architettura, Università di Firenze, (1) [simone.secchi@unifi.it](mailto:simone.secchi@unifi.it), (2) [veronica.amodeo@unifi.it](mailto:veronica.amodeo@unifi.it)

### SOMMARIO

L'articolo illustra un'analisi del tempo di riverberazione e dello Speech Transmission Index eseguita su un campione di aule scolastiche del Comune di Firenze, precedentemente e successivamente alla realizzazione di interventi di correzione della qualità acustica interna. I risultati presentati fanno riferimento alla metodologia ed ai valori limite definiti dalla norma UNI 11532-2:2020.

### 1. Premessa

Il Decreto Ministeriale dell'11 ottobre 2017 sui Criteri Ambientali Minimi relativi alle opere di nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici [1] indica l'obbligo delle verifiche della qualità acustica degli ambienti interni con riferimento specifico alle specifiche in termini di Tempo di Riverberazione e Speech Transmission Index, rimandando alla norma UNI 11532 per i dettagli tecnici ed i valori limite.

Alla data di ottobre 2017 era in vigore la 11532, versione del 2014, poi aggiornata nel 2018 (con la importante EC1) alla versione 11532-1 [2] che però non contiene valori limite, ma solo le definizioni delle grandezze pertinenti. Solo nel marzo del 2020 è stata emanata la parte 2 della norma [3] che contiene i valori limite in termini di Tempo di Riverberazione, TR, Chiarezza,  $C_{50}$ , e Speech Transmission Index, STI, per l'edilizia scolastica. La norma chiarisce altresì che le verifiche di STI sono necessarie solo nei casi di ambienti didattici caratterizzati da volume pari ad almeno  $250 \text{ m}^3$ , mentre per volumi inferiori, ovvero per la maggior parte delle aule scolastiche, la verifica dello STI può essere sostituita da quella della Chiarezza.

Scopo del presente studio è applicare la metodologia di misura e di calcolo del tempo di riverberazione e dello STI ad un campione di scuole site nel Comune di Firenze che sono state oggetto di calcoli previsionali, verifiche sperimentali e conseguenti interventi di correzione acustica.

Verranno pertanto posti a confronto i valori dello STI e del TR riferiti alle situazioni antecedente e seguente agli interventi di miglioramento acustico.

### 2. Descrizione del campione di scuole esaminate e degli interventi eseguiti

Le misurazioni hanno riguardato un campione di 11 aule per la didattica, appartenenti a scuole di ordine differente del Comune di Firenze, nelle quali sono state realizzate opere di miglioramento della qualità acustica interna a cura della Direzione Servizi Tecnici del Comune.

Sia le misurazioni che gli interventi correttivi sono stati eseguiti prevalentemente tra il 2018 ed il 2020 ed hanno riguardato alcune aule di differenti istituti scolastici in cui era prevista la presenza di alunni con deficit uditivi.

Le opere di miglioramento sono consistite in diverse tipologie di interventi realizzati con applicazione a parete o a soffitto (a controsoffitto continuo o a baffles), impiegando pannelli in fibra poliestere o in gesso microforato o in fibra di legno mineralizzata, e sono stati finalizzati al conseguimento dei valori del tempo di riverberazione richiesti per ambienti didattici che

ospitano alunni con difetti uditivi. Tali valori sono differenti nella versione del 2014 della norma UNI 11532 (Appendice A,  $TR \leq 0,4 \text{ s}$ ) e nella versione del 2020 (categoria A.3.1,  $T_{\text{ott}} = 0,32 \cdot \log(V) - 0,17 \text{ (s)}$ ). il limite di  $0,4 \text{ s}$ , coincidente con la vecchia 11532, corrisponde nella nuova versione ad un volume di  $60,5 \text{ m}^3$  dell'aula.

La tabella che segue riporta l'elenco delle aule esaminate sulle quali sono stati eseguiti gli interventi di miglioramento acustico nell'ambito della campagna di misure citata.

Tabella 1 – Elenco delle aule esaminate con le relative dimensioni.

Ambiente scolastico	Ordine	V ( $\text{m}^3$ )	S ( $\text{m}^2$ )
Marconi	primaria	138	46
Marconi	infanzia	104	35
Carducci	primaria	183	51
Desiderio da Settignano	infanzia	149	50
Masaccio	Secondaria I	101	33
Montagnola 1°B *	primaria	350 (160)	81 (37)
Montagnola 4°C *	primaria	350 (208)	81 (52)
Rossini	primaria	147	39
Martin Luther King	primaria	209	50
Acciaiuoli	primaria	191	45
Salvemini**	Secondaria II	412	62

\* A seguito degli interventi di miglioramento acustico sono state unite due aule, raddoppiando così superficie e volume rispetto alla condizione ante opera, le cui dimensioni sono indicate tra parentesi.

\*\* Esaminato fuori dal presente progetto di ricerca.

### 3. Descrizione della metodologia di misura e di calcolo

Le misure sono state condotte sia prima che dopo l'esecuzione degli interventi di miglioramento, rilevando la risposta impulsiva degli ambienti con analizzatore di spettro sonoro a due canali e microfoni per campo diffuso da  $\frac{1}{2}$  pollice. Le postazioni di misura del tempo di riverberazione sono state distribuite nell'ambiente mantenendo le distanze dalle superfici riflettenti definite dalle norme pertinenti, mentre per quelle dello STI si è fatto riferimento alle posizioni indicate dal punto 6 della UNI 11532-2. Tutte le misure sono state eseguite in aule normalmente arredate e con i soli due tecnici addetti alle rilevazioni.

Per il calcolo dello STI si è fatto riferimento al metodo descritto dall'appendice A della UNI 11532-1, che riprende il metodo della IEC 60268-16:2011. Tale procedura di calcolo è implementata nel foglio elettronico realizzato da Ole-Herman Bjørn per Norsonic AS e disponibile in rete.

In base a tale metodologia, lo STI viene calcolato a partire dal valore del tempo di riverberazione e dal livello del segnale e del rumore al ricevitore, in bande di ottava tra 125 e 8.000 Hz, nell'ipotesi di segnale parlato caratterizzato da livello globale pesato A pari a 60 dBA a 1 metro dalla sorgente (a 70 dBA per  $V_{\text{aula}} \geq 250 \text{ m}^3$ ), in asse ad essa.

Lo STI può altresì essere calcolato a partire dalla risposta impulsiva e dal livello del segnale parlato e di fondo misurati nel punto del ricevitore, sempre nell'ipotesi di sorgente sonora sopra descritta. Tale procedura, implementata nella plug-in Aurora 5.0 del software Audacity®, è stata applicata ai casi studio esaminati: i relativi risultati, posti a confronto con quelli ottenuti con il foglio di calcolo, hanno fornito risultati pressoché uguali.

Per ogni aula lo STI è stato quindi calcolato partendo dai valori misurati del tempo di riverberazione in bande di ottava tra 125 e 8.000 Hz e dalla stima del livello di pressione sonora nel punto del ricevitore, a centro stanza. La stima del livello del parlato è stata effettuata normalizzando lo spettro della voce al livello di 60 dBA ad un metro dalla posizione della sorgente (la cattedra) e considerando per ogni aula la distanza tra cattedra e centro stanza, nell'ipotesi di campo sonoro semi riverberante. Il livello del rumore di fondo è stato posto uguale al valore medio misurato in un'aula campione. Tale livello è stato ritenuto rappresentativo del livello di rumore di fondo nelle diverse aule, in assenza di rumori antropici dentro la scuola (bambini silenti). La figura 1 riporta, per un'aula tipo, il confronto tra i valori del livello del segnale (parlato) e del rumore a centro stanza.

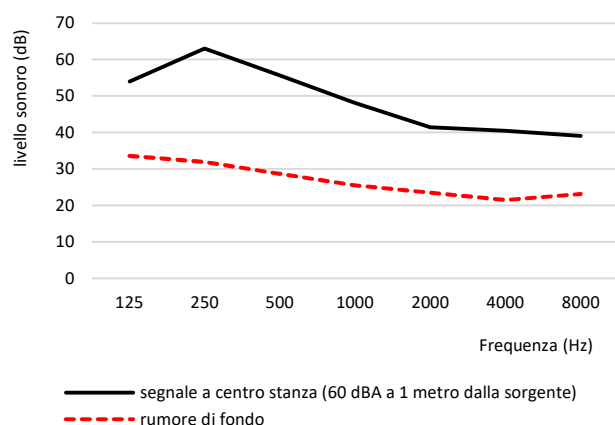


Figura 1 – Livello di pressione sonora a centro stanza per segnale di parlato e di rumore di fondo per un'aula tipo.

Oltre che con questo metodo, che viene considerato “indiretto”, poiché ricava lo STI mediante un metodo di calcolo analitico e non dalla rilevazione diretta della funzione di trasferimento della modulazione del segnale, in alcune aule la stessa grandezza è stata misurata anche con metodo diretto. In questo caso è stata impiegata una sorgente sonora tipo Talk Box della Bedrock in grado di riprodurre una modulazione normalizzata del segnale per la misura dello STIPA. I risultati di questa analisi comparata tra metodo diretto ed indiretto di misura dello STI, così come l'effetto della distanza tra sorgente e ricevitore saranno presentati in un prossimo articolo.

#### 4. Risultati e considerazioni sulle misurazioni eseguite

I grafici che seguono riportano i risultati ottenuti prima e dopo gli interventi di correzione acustica nelle aule elencate in tabella 1.

Il grafico di figura 2 riporta i valori della media spaziale del tempo di riverberazione modificati per tenere conto della occupazione all'80% dell'aula, in accordo alla formula (1) della UNI 11532-2, e dell'incertezza di misura con livello di fiducia dell'84%, al confronto con i valori limite massimi definiti dalla stessa norma per la categoria A.3.1 (aule didattiche con presenza di bambini con deficit uditivo o non madre lingua). Per

semplicità di lettura, i dati sono qui riportati come media tra le frequenze di 250 e 2.000 Hz, mentre la verifica completa è stata effettuata per ogni banda di frequenza tra 125 e 4.000 Hz, rispettando il margine di tolleranza (min – max) definito dalla figura 2 della norma UNI 11532-2.

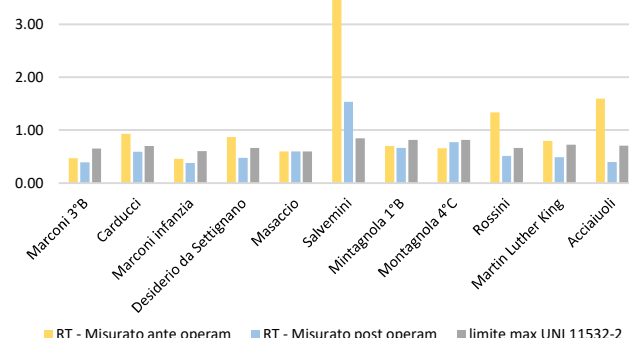


Figura 2 – Confronto tra i valori medi (250-2.000 Hz) del tempo di riverberazione ante e post operam (80% di occupazione dell'aula e incertezza di misura con 84% di livello di fiducia) ed il valore limite massimo secondo UNI 11532-2 della categoria A.3.1.

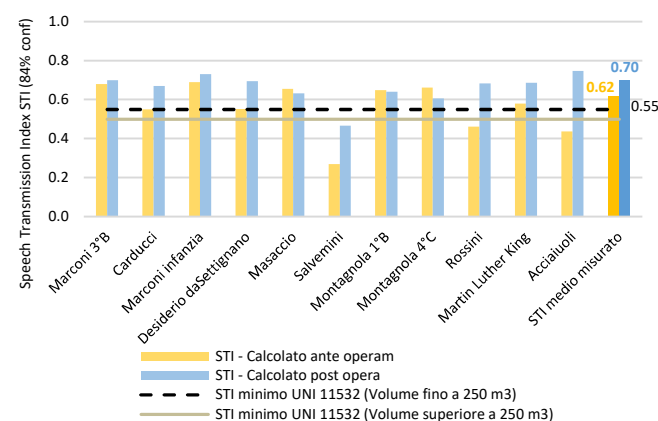


Figura 3 – Confronto tra i valori dello STI ante e post operam (aule vuote ed arredate) ed il valore limite minimo secondo UNI 11532-2.

#### 5. Ringraziamenti

Le misurazioni sono state eseguite nell'ambito di un progetto parzialmente finanziato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Firenze e dalla Direzione Servizi Tecnici del Comune di Firenze. Si ringraziano i tecnici comunali geom. Mirko Drago, geom. Francesco Burrini e geom. Moreno Martini per l'assistenza alle misurazioni e per la fornitura del materiale documentario necessario, il prof. Gianfranco Cellai e l'ing. Fabio Brocchi per la partecipazione ad alcune delle campagne di misurazione e l'Associazione IOPARLO per la collaborazione nella definizione degli obiettivi dello studio.

#### 6. Bibliografia

- [1] Decreto Ministeriale 11 ottobre 2017, Criteri ambientali minimi per l'affidamento di servizi di progettazione e lavori per la nuova costruzione, ristrutturazione e manutenzione di edifici pubblici, in GU Serie Generale n.259 del 06-11-2017
- [2] UNI 11532-1:2018, Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 1: Requisiti generali
- [3] UNI 11532-2:2020, Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico.